

PROCEDE D'OCCULTATION STELLAIRE, DISPOSITIF ET ENSEMBLE  
DE MISE EN ŒUVRE DU PROCEDE

DOMAINE TECHNIQUE GENERAL

5 La présente invention concerne un dispositif d'occultation stellaire, un ensemble comportant un télescope et un dispositif d'occultation et un procédé utilisant cet ensemble.

ETAT DE L'ART

La recherche de planètes de type terrestre en dehors du système solaire et  
10 la détermination de leurs caractéristiques est un élément central de la prospective astronomique. Elle correspond à une demande profonde du public.

Des missions se donnent cette quête pour objectif en proposant d'utiliser des techniques avancées.

15 Elles utilisent le vol en formation de télescopes, dont la lumière est combinée dans un « *moyeu* » central. Une telle formation permet d'annuler l'image d'une étoile et de détecter d'éventuelles planètes proches de celle-ci.

Le facteur d'atténuation souhaitable est de l'ordre du milliard et il ne  
20 fait guère de doute que ces missions ne seront pas lancées avant 2020.

Un dispositif plus simple qu'un télescope spatial classique est connu du document FR 2 840 416. Ce document décrit un dispositif notamment plus léger qu'un télescope classique et comportant une lentille de Fresnel associée à un détecteur déporté.

25 Ce dispositif ne peut fonctionner que sur des rayonnements un tant soit peu cohérents. Il ne focalise qu'une raie spectrale très étroite dont la focalisation est obtenue par un éloignement approprié du récepteur éventuellement doté d'un filtrage ad hoc.

La performance de ce type de dispositif est fondée sur le fait que  
30 l'essentiel de la lumière d'une étoile n'est pas focalisée parce qu'elle n'est pas cohérente, et parce qu'elle n'est pas sur la bonne fréquence. On pourrait, à titre d'exemple, ne s'intéresser lors des observations qu'à une transition de l'ozone pour détecter une planète « intéressante ».

Par ailleurs, le dispositif autorise de grandes ouvertures, par exemple de l'ordre de 100 m de diamètre, puisqu'il suffit de déployer une membrane consistant en des zones alternativement transparentes et opaques dont les contraintes de planéité sont faibles.

5 Néanmoins, le dispositif divulgué dans le document FR 2 840 416 comporte des inconvénients et les perspectives de déploiement d'un tel dispositif restent éloignées.

En effet, il s'agit d'une technologie nouvelle difficile à maîtriser. La construction de la lentille de Fresnel demande une grande précision, 10 notamment pour le tracé des zones opaques et transparentes, et est relativement coûteuse à réaliser.

#### PRESENTATION DE L'INVENTION

L'invention propose de pallier au moins un des inconvénients des dispositifs de l'art antérieur.

15 L'invention a pour but de proposer un dispositif permettant l'observation de planètes à proximité d'étoile, le dispositif étant simple de réalisation et peu onéreux.

A cet effet, l'invention propose un dispositif autonome d'occultation du rayonnement lumineux issu d'au moins une étoile, le dispositif comportant 20 des moyens aptes à commander des moyens de propulsion eux-mêmes aptes à déplacer ou arrêter le dispositif dans l'espace et/ou sur une pseudo-orbite dans l'espace autour d'un télescope d'observation comportant une ouverture d'observation, caractérisé en ce qu'il comporte un écran d'occultation, les moyens de commande des moyens propulsion étant de 25 plus aptes à placer l'écran sur un axe de visée entre le télescope et l'étoile pendant une durée d'observation, de sorte que le rayonnement lumineux de l'étoile soit au moins partiellement occulté pour l'ouverture d'observation du télescope pendant ladite durée d'observation.

L'invention est avantageusement complétée par les caractéristiques 30 suivantes, prises seules ou en une quelconque de leur combinaison techniquement possible :

- une dimension d'occultation de l'écran est de l'ordre de grandeur de l'ouverture d'observation du télescope ;

- l'écran est souple et/ou articulé ;
- l'écran comporte des moyens aptes à déployer ou plier l'écran ;
- il comporte des moyens aptes à déplacer l'écran par rapport au dispositif pour modifier le degré d'occultation du rayonnement lumineux de l'étoile par rapport à l'ouverture d'observation du télescope ;
- il comporte de plus des réflecteurs d'un signal laser ou des répondeurs radios de positionnement du dispositif ;
- les moyens de propulsion sont de plus aptes à placer le dispositif sur une pseudo-orbite autour du télescope.

10 L'invention concerne également un ensemble comportant au moins un tel dispositif et un procédé d'utilisation d'un tel dispositif ou ensemble.

#### PRESENTATION DES FIGURES

D'autres caractéristiques, buts et avantages de l'invention ressortiront de la description qui suit, qui est purement illustrative et non limitative, et qui doit 15 être lue en regard des dessins annexés sur lesquels :

- la figure 1 est une représentation schématique des positions relatives d'une étoile, d'un occulteur et d'un télescope d'observation ;
- la figure 2 est une vue schématique plus détaillée de la figure 1 ;
- la figure 3 est une représentation schématique d'un exemple d'un système 20 de déploiement d'un écran d'un occulteur possible selon l'invention ;
- la figure 4 est une représentation schématique des positions possibles d'un occulteur sur un axe de visée ;
- les figures 5A et 5B montrent deux positions possibles d'un écran d'un occulteur par rapport à une surface collectrice d'un télescope dans un plan 25 perpendiculaire ou sensiblement perpendiculaire à l'axe de visée ;
- la figure 6 montre une planète dans un alignement étoile occulteur télescope ; et
- la figure 7 montre un occulteur en dehors du plan de l'écliptique Terre-Soleil.

30 Dans toutes les figures, les éléments similaires portent des références numériques identiques. Les distances et les dimensions sur les dessins ne sont bien entendu pas respectées mais sont schématiques.

## DESCRIPTION DETAILLEE DE L'INVENTION

Comme le montre la figure 1, l'invention utilise le principe de l'occultation d'une étoile en champ lointain, en adjoignant un dispositif 4 particulier, appelé « occulteur » dans la suite de la présente description, à un télescope 5 spatial 2 de grandes performances. La fonction de l'occulteur 4 est de bloquer le rayonnement lumineux issu d'une étoile 1 en se plaçant sur l'axe de visée 3 entre le télescope 2 et l'étoile 1.

Avantageusement, le télescope 2 est optimisé pour une observation dans le domaine visible et infrarouge, et peut ainsi détecter la présence de 10 planètes autour de l'étoile 1, une fois le rayonnement de l'étoile occulté.

Très avantageusement, un occulteur 4 selon l'invention est adjoint à un télescope 2 spatial de future génération. Un exemple non limitatif d'un tel télescope 2 est fourni par exemple par le « Next Generation Space Telescope (NGST) », encore appelé « James Webb Space Telescope 15 (JWST) » selon la terminologie anglo-saxonne généralement utilisée par l'homme du métier.

Le télescope 2 NGST est un télescope conçu par l'administration américaine de l'aéronautique et de l'aérospatial ou « National Aeronautics and Space Administration (Nasa) » et auquel participe activement l'Agence 20 spatiale européenne.

Comme le montre la figure 7, en lançant un télescope 2 d'un diamètre de 8 mètres sur une « orbite L2 » (c'est-à-dire sur une orbite stable à 1,5 million de kilomètres de la Terre 7, sur une ligne Soleil 6 - Terre 7, en direction opposée au Soleil 6 et au-delà de la Terre 7), on peut effectuer 25 des observations très précises car on évite la lumière de fond diffusée par l'atmosphère terrestre.

L'orbite L2 correspond au deuxième point de Lagrange de l'ensemble Soleil 6 – Terre 7. On rappelle qu'un point de Lagrange est un point de l'espace où le potentiel gravitationnel créé par l'ensemble de deux astres 30 atteint localement un maximum ou un minimum. Il existe plusieurs points de Lagrange pour un ensemble de deux astres. Certains sont stables, c'est-à-dire qu'un corps de masse négligeable par rapport aux deux astres, comme un occulteur ou un satellite artificiel par exemple, placé en l'un de ces points

stables dans des conditions convenables, demeure indéfiniment au voisinage de ce point.

Le télescope 2 est de préférence protégé du Soleil 6 et de la Terre 7 grâce à un grand écran déployable fixé sur le télescope 2, ce qui permet à 5 l'ensemble du télescope 2 de se refroidir à une température de 35 degrés au-dessus du zéro absolu et lui procure une sensibilité extraordinaire dans l'infrarouge. Le lancement du NGST est prévu en 2011.

Dans la suite de la présente description, pour plus de simplicité, on fait référence au télescope 2 NGST, mais on comprend que n'importe quel 10 télescope spatial de hautes performances et notamment dans l'observation infrarouge peut également être utilisé.

Comme le montre la figure 2, selon l'invention, on lance un satellite 400 de très faible masse comportant un occulteur 4.

Pour fixer les idées et à titre d'exemple non limitatif, la taille typique 15 d'un satellite 400 selon l'invention est de 10 mètres de diamètre.

L'occulteur 4 comporte principalement un écran 40 qui peut être un disque. L'écran 40 n'est pas nécessairement un disque. Un carré ou un triangle peuvent également être utilisés en tant qu'écrans 40.

L'écran 40 est d'un diamètre 41 au moins égal à l'ouverture 20 d'observation 21 de NGST 2.

L'interruption totale du flux visible et infrarouge en provenance d'une étoile 1 est réalisable par un écran 40 doté d'une épaisseur métallique par exemple de 10 micromètres déposé sur un support souple, par exemple en matière plastique.

25 Cependant, cette épaisseur n'est pas critique. Plus l'écran 40 et l'épaisseur opaque sont fins, plus l'occulteur est léger.

Mais même en considérant une épaisseur de 100 micromètres, la masse mobilisée par une surface de moins de 100 mètres carrés est de l'ordre de 2 ou 3 kilogrammes.

30 Préférentiellement, l'écran 40 est souple ou est articulé pour pouvoir être plié lors de la phase de lancement à partir de la Terre et déployé une fois dans l'espace.

Le mécanisme de déploiement de l'occulteur 4 n'est pas critique non plus, car il n'y a aucune condition de planéité à respecter pour l'écran 40.

On peut ainsi prévoir, comme le montre la figure 3, une structure gonflable 42 montée en périphérie de l'écran 40 pour permettre le 5 déploiement de l'occulteur 4. On peut également prévoir d'autres structures de déploiement, comme par exemple des bras articulés et munis de moteur de déploiement.

La précision de pointage de l'occulteur 4 ne pose pas non plus de difficulté.

10 En effet, la figure 4 montre que l'occulteur 4 remplit correctement sa fonction dès qu'il est perpendiculaire à l'axe 3 de visée, ou que sa position par rapport à l'axe de visée 3 est comprise dans un angle  $\alpha$  de débattement de part et d'autre d'un plan 30 perpendiculaire à l'axe de visée 3, l'angle  $\alpha$  étant inférieur à 10° environ.

15 Le positionnement de l'occulteur 4 le long de l'axe 3 de visée NGST 2-Etoile 1 ne requiert aucune précision.

Ainsi, la distance 31 entre NGST 2 et l'occulteur 4 sur l'axe 3 de visée n'a pas besoin d'être précise. En effet, aux distances considérées, même mille kilomètres de plus ou de moins ne changent rien.

20 En revanche, les figures 5A et 5B montrent que le positionnement géométrique de l'occulteur 4 dans le plan 30 perpendiculaire, ou sensiblement perpendiculaire, à l'axe 3 de visée est important.

En effet, pour pouvoir détecter une planète, l'occulteur 4 doit préférentiellement occulter complètement tout rayon venant de l'étoile 1 25 vers tout endroit de la surface collectrice 20 du NGST 2. Ainsi, le positionnement de l'occulteur 4 est correct sur la figure 5A puisqu'il occulte toute la surface collectrice 20 du NGST. L'occulteur 4 et la surface collectrice 20 sont centrés sur l'axe 3. Par contre, le positionnement de l'occulteur 4 n'est pas satisfaisant sur la figure 5B, puisqu'il n'occulte pas 30 toute la surface collectrice 20 du NGST. L'occulteur 4 est excentré par rapport à l'axe 3 de visée.

On comprend grâce à la figure 5A que la marge de positionnement pour l'occulteur 4 dans le plan 30 perpendiculaire ou sensiblement

perpendiculaire à l'axe 3 de visée est de l'ordre de l'excès 32 de diamètre de l'occulteur 4 par rapport à l'ouverture 21 du NGST.

Dans ces conditions, une précision de l'ordre du mètre est souhaitée. En effet, l'occulteur 4 ne sera jamais assez grand pour se contenter de dix 5 mètres. Par ailleurs, exiger dix centimètres n'a pas de sens eu égard aux ouvertures considérées.

Cependant, l'occultation uniquement partielle d'une étoile par l'occulteur peut également avoir une utilité et permet notamment d'effectuer des mesures Doppler sur la rotation d'une étoile.

10 L'axe de rotation de l'étoile peut en effet être obtenu en diminuant l'occultation depuis des directions différentes, dans le plan 30 perpendiculaire à l'axe de visée. Lorsque la direction de cette diminution est perpendiculaire à l'axe de rotation de l'étoile, la signature Doppler de l'étoile partiellement occultée est plus nette.

15 Pour fixer les idées et en référence à la figure 4, on utilise les ordres de grandeur suivants.

Une étoile 1 typique a un diamètre 11 de 2 millions de kilomètres et une distance 34 typique au NGST 2 de 20 années lumière ( $1,89 \cdot 10^{14}$  km).

La planète 5 de type terrestre orbite autour de cette étoile 1 à une 20 distance 33 typique de 200 millions de km. Cette orbite est représentée perpendiculairement à l'axe 3 sur la figure 4, mais on comprend que l'orbite peut avoir n'importe quelle direction par rapport à l'étoile 1.

Donc l'angle sous lequel est vue l'étoile 1 par NGST 2 (respectivement l'orbite de la planète) est de  $10^{-8}$  radians (respectivement  $10^{-6}$ ).

25 Pour occulter l'étoile 1 sans occulter l'orbite planétaire, et aussi pour s'adapter à des valeurs légèrement différentes de nos ordres de grandeur, on considère qu'il faut un angle d'occultation de  $10^{-7}$  radians.

Si comme le montre la figure 6, le plan 15 de l'orbite planétaire 30 contient l'axe 3 de visée, la planète 5 pourra se trouver occultée elle aussi par l'occulteur 4 si elle est en train de passer devant ou derrière l'étoile 1. La planète 5 est donc cachée dans ce cas, lorsque la planète 5, l'étoile 5, l'occulteur 4 et NGST 2 sont alignés.

Dans le cas de la Terre, occulter 10% du rayon de l'orbite correspond à un temps d'occultation maximal de l'ordre de 12 jours (le temps que la Terre parcourt les 30 millions de kilomètres occultés à sa vitesse de 30 km/s).

5 Un temps d'observation par étoile de l'ordre du mois est donc satisfaisant. On a ainsi de fortes chances de repérer une planète qui serait dans l'alignement étoile 1, occulteur 4, NGST 2. Il faut noter que cette durée n'est pas le temps pendant lequel NGST 2 est mobilisé pour une mesure, mais du temps où il est mobilisable pour une observation.

10 L'angle de  $10^{-7}$  radians correspond, pour un occulteur 4 de taille typique de 10 mètres, à une distance 31 au NGST 2 de 100 000 km.

La réalisation du projet suppose donc d'être capable de placer un occulteur à 100 000 km du NGST.

15 De préférence, l'occulteur 4 est situé au point de Lagrange Terre-Soleil, c'est-à-dire à 1.5 Mkm de la Terre. Le NGST 2 est situé sur l'orbite L2, et l'occulteur 4 est donc situé à proximité du NGST 2 - par rapport aux autres distances considérées.

20 L'occulteur 4 est placé à proximité du point de Lagrange, dans n'importe quelle direction, et avec une précision de l'ordre du mètre, perpendiculairement à l'axe 3 de visée NGST 2 - Etoile 1 donnée.

A titre d'ordre de grandeur et comme le montre la figure 7, pour que l'occulteur 4 puisse sauter à une distance 31 de 100 000 km du plan 8 de l'écliptique Soleil 6 – Terre 7, avec un angle  $\beta$  sensiblement égal à  $10^\circ$ , il faut fournir environ 1.25 m/s.

25 L'orbitographie au voisinage des points de Lagrange est complexe. Les modèles qui suivent ne prétendent pas à l'exactitude, mais ils donnent des ordres de grandeur corrects.

Soit donc les ordres de grandeur suivants.

30 La Terre 7 orbite à 150 millions de km (R) du Soleil 6 sur une orbite sensiblement circulaire parcourue à 30 km/s (V). L'accélération G subie par la Terre 7 du fait du Soleil 6 est égale à  $V^2/R$ . En s'éloignant d'une valeur D du plan de l'écliptique 8, l'accélération de rappel du Soleil 6 est égale à  $GD/R$  (car  $D \ll R$ ), ou encore  $(V/R)^2 D$ , soit  $10^{-6}$  m/s<sup>2</sup> si D=25 000 km (pour

mémoire une visée à 10° du plan 8 de l'écliptique avec une distance de 100 000 km conduit à D=17 300 km).

Le plan 8 de l'écliptique agit donc comme un ressort de raideur :

$$k=4 \cdot 10^{-14} \text{ s}^{-2} ;$$

5 qui conduit à une période d'aller retour à travers le plan 8 de l'écliptique de  $10^{+7}/\pi$  secondes (soit environ 40 jours) et une vitesse maximale au franchissement de ce plan 8 de 1.25 m/s.

Pour créer un tel éloignement, il faut donc un peu plus de 1 m/s et pour le maintenir, une accélération typique de  $10^{-6} \text{ m.s}^{-2}$ .

10 De façon similaire, à partir d'une orbite circulaire telle que celle de la Terre 7, nous pouvons créer une orbite de même période avec une augmentation de l'excentricité E en effectuant deux impulsions: la première sur l'orbite circulaire pour augmenter l'apohélie, la deuxième à l'apohélie pour conserver à l'orbite la même période que celle de la Terre 7.

15 Le rayon à l'apohélie augmente alors de RE. L'impulsion totale nécessaire est de EV/2.

Si nous voulons nous éloigner de 25 000 km, l'application des formules donne alors une impulsion nécessaire de 2.5 m/s.

Par contre, pour créer une excentricité conduisant à un écart 31 de 20 100 000 km par rapport à l'orbite L2, dans le plan de l'écliptique 8, il faut environ 10 m/s.

Autour du point L2, les orbites relatives de l'occulteur 4 par rapport au NGST 2 sont parcourues en un an à une vitesse typique de 6 km/h.

25 L'occulteur 4 suit donc une pseudo-orbite autour du point de Lagrange, corrigée de telle façon qu'elle l'amène, pour une observation, sur l'axe de visée 3 entre le NGST 2 et une étoile 1 donnée. On peut donc déterminer la pseudo-orbite de l'occulteur 4 autour de NGST 2 pour qu'elle passe devant un certain nombre d'étoiles intéressantes lors de sa trajectoire.

Des moyens 43 de commande des moyens 44 propulsion sont aptes à 30 placer l'écran 40 sur l'axe 3 de visée entre le télescope 2 et l'étoile 1 pendant une durée d'observation, de sorte que le rayonnement lumineux de l'étoile 1 soit au moins partiellement occulté pour l'ouverture 21 d'observation du télescope 2 pendant ladite durée d'observation.

L'occulteur 4 peut, grâce aux moyens 43 aptes à commander les moyens 44 de propulsion, annuler sa vitesse pendant l'observation, puis reprendre les 6 km/h (i.e. faire un « stop and go » selon la terminologie anglo-saxonne).

5 Les moyens 44 de propulsion permettent à l'occulteur 4 de se maintenir en propulsion pour immobiliser l'occulteur 4 par rapport au télescope pendant la durée de l'observation. L'accélération correspondante serait de l'ordre de  $V^2/R$ , soit de l'ordre de  $10^{-6}$  m/s<sup>2</sup>. Une pause d'un mois coûte alors de l'ordre de 10 m/s.

10 Chaque année, un occulteur 4 pourra donc faire analyser par NGST l'entourage de 5 ou 6 étoiles.

Pour réaliser l'analyse de l'environnement de 150 à 200 étoiles en un temps raisonnable, plusieurs occulteurs sont nécessaires.

15 Il est clair que les occulteurs n'ont aucun besoin de télémesure de résultat. La communication des résultats vers la Terre est entièrement le fait du NGST. Les occulteurs ont seulement besoin de consignes d'une taille très modeste (i.e. une télémesure de faible débit).

20 Le point principal est la réalisation d'une consigne de position au mètre près pour les occulteurs et, de façon non moins importante, une connaissance de la position du NGST à la même précision.

Pour réaliser cette consigne aussi loin de la Terre tout en restant dans une philosophie d'économie des moyens, on utilise des tirs laser stéréoscopiques ou des moyens stéréoscopiques radios depuis la Terre.

25 Un tir laser ou radio réalise facilement la précision métrique en radial. Pour réaliser une précision similaire dans les deux dimensions orthoradiiales dans un plan (préférentiellement le plan 30), il faut disposer d'une base stéréoscopique, formée de deux stations lasers ou de deux stations radio.

30 Il est possible de localiser un objet distant de 1.5 Mkm avec plusieurs instruments laser ou radio terrestres séparés par plusieurs milliers de kilomètres.

Typiquement une précision intrinsèque laser ou radio de l'ordre du centimètre est dégradée par un facteur stéréoscopique de l'ordre de 200, ce qui conduit à la performance souhaitée. On peut définir le facteur

stéréoscopique comme la distance à l'objet divisée par la distance entre les lasers de la base.

On place alors des moyens 46 réflecteurs d'un faisceau laser ou des répondeurs radio de positionnement. La taille des réflecteurs ou répondeurs 5 46 des faisceaux lasers ou radios de localisation nécessaires ne pose pas de problème pour l'occulteur 4.

Il faut de plus embarquer des moyens 26 réflecteurs ou répondeurs radios sur NGST, afin d'obtenir une précision métrique également sur la localisation du NGST. On peut également utiliser les moyens et les 10 différents canaux radio existants sur NGST pour effectuer de la stéréoscopie radio.

Selon un autre procédé de positionnement utilisé dans le cas où les précisions des positionnements sont de l'ordre de 5 mètres, on également peut procéder par « essai et erreur » en déplaçant, grâce à des moyens 45, 15 l'écran 40 par rapport à l'occulteur 4 de plusieurs mètres au voisinage de la position calculée, jusqu'à observer l'occultation sur NGST 2.

A cet effet, et compte tenu de ce que la masse de l'écran 40 est très faible, l'occulteur comporte des moyens aptes à translater ou faire tourner l'écran 40 seul sur des distances de l'ordre de la moitié de son diamètre.

20 Le positionnement de l'occulteur 4 est simplifié lorsque la direction d'observation fait un angle  $\beta$  par rapport au plan de l'écliptique 8.

Premièrement, la position de l'occulteur 4 sur l'axe Terre 7-occulteur 4 est facile à obtenir par un tir laser direct ou un temps de réponse radio.

Deuxièmement, la position de l'occulteur 4 sur un axe perpendiculaire 25 à l'écliptique 8 peut être obtenue en utilisant une station laser ou radio dans chaque hémisphère de la Terre (un au Nord et un au Sud). Une seule mesure stéréoscopique est nécessaire dans ce cas pour positionner précisément l'occulteur 4.

En restreignant de plus la mission à des étoiles 1 proches du plan 8 de 30 l'écliptique, à savoir à des étoiles 1 situées selon une direction d'observation faisant un angle  $\beta$  inférieur à 10° de ce plan 8, on évite une consommation d'énergie trop importante.

La propulsion de l'occulteur doit être compatible avec une quinzaine de « stop and go » sur l'orbite. Ainsi, les moyens 44 de propulsion de l'occulteur 4 sont compatibles avec une poussée faible (pour contrer le potentiel du système Terre-Soleil et immobiliser l'occulteur pendant une 5 trentaine de jours que dure une observation) et une poussée substantielle (pour obtenir de l'ordre de 20 m/s assez rapidement pour le démarrage de l'occulteur 4 sur la pseudo-orbite).

L'incrément total de vitesse, pour réaliser vingt opérations de ce type sur la durée de vie, serait de l'ordre de quelques dizaines de mètres par 10 seconde et dans tous les cas de l'ordre de grandeur des incrément de vitesse réalisables par des satellites.

L'invention confère de nombreux avantages.

Elle permet de réaliser des observations de planètes avec une mission peu coûteuse et remplissant une partie des objectifs des missions de 15 recherche, tout en prenant quelques années d'avance.

L'objet de l'invention est un additif à un télescope spatial (préférentiellement le NGST) et toute l'instrumentation du télescope peut-être mise au service de la mesure. Néanmoins, le temps d'observation *stricto sensu* consommé sur le télescope reste très faible. L'influence de la 20 mission sur le NGST reste donc très faible, hormis la nécessité de connaître sa position typiquement à un mètre près.

L'occulteur est un micro satellite très simple, dont les exigences de pointage sont très faibles. Il ne nécessite que des moyens de télémesure montante comme descendante très pauvre, et des moyens de pointage de 25 mission très peu performants.

Par contre, les exigences de positionnement sur l'occulteur sont fortes (typiquement 1 m). Cependant, les exigences de positionnement sont moins importantes que celles dans certaines missions de recherche.

L'écran lui-même est très léger et très simple. Il peut être intéressant 30 de le doter d'une capacité de translation et/ou de rotation.

Moins d'une dizaine d'exemplaires de l'occulteur devraient être construits et envoyés en L2.

Compte tenu de l'incrément de vitesse nécessaire pour la mission (très inférieur au km/s), l'occulteur peut rejoindre par lui-même le point L2 (500 m/s) avec le même système de propulsion. Il pourrait donc s'agir, sinon d'un ASAP (Ariane Structure for Auxiliary Payload selon la terminologie anglo-5 saxonne utilisée par l'homme du métier), du moins d'un micro/mini satellite en position centrale sur Ariane 5 ou une autre fusée de lancement de satellites.

Ainsi, l'invention permet de profiter de projets autonomes pour obtenir des performances et des produits nouveaux.

## REVENDICATIONS

1. Dispositif (4) autonome d'occultation du rayonnement lumineux issu d'au moins une étoile (1), le dispositif (4) comportant des moyens (43) aptes à commander des moyens (44) de propulsion eux-mêmes aptes à déplacer ou arrêter le dispositif (4) dans l'espace et/ou sur une pseudo-orbite dans l'espace autour d'un télescope (2) d'observation comportant une ouverture (21) d'observation, caractérisé en ce qu'il comporte un écran (40) d'occultation, les moyens (43) de commande des moyens (44) de propulsion étant de plus aptes à placer l'écran (40) sur un axe (3) de visée entre le télescope (2) et l'étoile (1) pendant une durée d'observation, de sorte que le rayonnement lumineux de l'étoile (1) soit au moins partiellement occulté pour l'ouverture (21) d'observation du télescope (2) pendant ladite durée d'observation.
2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'une dimension d'occultation (41) de l'écran (40) est de l'ordre de grandeur de l'ouverture (21) d'observation du télescope (2).
3. Dispositif selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que l'écran (40) est souple et/ou articulé.
4. Dispositif selon la revendication 3, caractérisé en ce que l'écran comporte des moyens (42) aptes à déployer ou plier l'écran (40).
5. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce qu'il comporte des moyens (45) aptes à déplacer l'écran (40) par rapport au dispositif (4) pour modifier le degré d'occultation du rayonnement lumineux de l'étoile (1) par rapport à l'ouverture (21) d'observation du télescope (2).

6. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce qu'il comporte de plus des réflecteurs (46) d'un signal laser ou des répondeurs radio de positionnement du dispositif (4).
- 5 7. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que les moyens (44) de propulsion sont de plus aptes à placer le dispositif (4) sur une pseudo-orbite autour du télescope (2).
- 10 8. Ensemble comportant un télescope (2) d'observation comportant une ouverture (21) d'observation, caractérisé en ce qu'il comporte au moins un dispositif (4) selon l'une des revendications 1 à 7.
- 15 9. Ensemble selon la revendication 8, caractérisé en ce que le télescope (2) comporte des réflecteurs (26) d'un signal laser ou des répondeurs radio de positionnement du télescope (2).
- 20 10. Procédé d'occultation au moins partielle du rayonnement lumineux issu d'au moins une étoile (1) pour une ouverture (21) d'observation d'un télescope (2) d'observation dans l'espace, l'occultation ayant lieu pendant une durée d'observation, caractérisé en ce qu'il comporte les étapes selon lesquelles on commande des moyens (43) aptes à commander des moyens (44) de propulsion d'au moins un dispositif (4) autonome d'occultation sur une pseudo-orbite dans l'espace autour du télescope (2) pour placer un écran (40) du dispositif (4) sur un axe (3) de visée entre le télescope (2) et l'étoile (1) pendant ladite durée d'observation.
- 25 11. Procédé selon la revendication 10, caractérisé en ce qu'on détermine la position du dispositif (4) d'occultation et du télescope (2) grâce à au moins un tir laser ou radio.
- 30 12. Procédé selon l'une des revendications 10 ou 11, caractérisé en ce qu'on déplace grâce à des moyens (45) l'écran (40) par rapport au

dispositif (4) pour modifier le degré d'occultation du rayonnement lumineux de l'étoile (1) par rapport à l'ouverture (21) d'observation du télescope (2).

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.  
PCT/FR2005/000494

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
IPC 7 G02B23/00 G02B27/58

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
IPC 7 G02B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, INSPEC

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 5 291 333 A (MILLS JAMES P ET AL) 1 March 1994 (1994-03-01) column 1, lines 15-53 column 2, line 36 - column 3, line 2 figures 1,48 -----	1,8,10
A	US 5 450 352 A (FTACLAS CHRIST ET AL) 12 September 1995 (1995-09-12) the whole document -----	1,8,10
A	US 4 923 293 A (NELLES BRUNO ET AL) 8 May 1990 (1990-05-08) the whole document ----- -/-	1,8,10

Further documents are listed in the continuation of box C.

Patent family members are listed in annex.

### \* Special categories of cited documents :

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

\*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

\*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

\*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

\*&\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

23 August 2005

Date of mailing of the international search report

31/08/2005

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Mollenhauer, R

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/FR2005/000494

**C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
T	<p>ANONYMOUS: "Extrasolar planet"  INTERNET ARTICLE, 'Online!  18 October 2004 (2004-10-18), XP002302123  Retrieved from the Internet:  URL:<a href="http://en.wikipedia.org/wiki/Extrasolar_planet">http://en.wikipedia.org/wiki/Extrasolar_planet</a> 'retrieved on 2004-10-21!  the whole document</p> <p>-----</p>	1,8,10
A	<p>HULL T ET AL: "Eclipse telescope design factors"  PROCEEDINGS OF THE SPIE - THE  INTERNATIONAL SOCIETY FOR OPTICAL  ENGINEERING SPIE-INT. SOC. OPT. ENG USA,  vol. 4860, 2003, pages 277-287,  XP002302124  ISSN: 0277-786X  figure 3</p> <p>-----</p>	1,8,10
A	<p>SERABYN G: "Comparison of high dynamic range near-neighbor detection approaches for TPF"  2002 IEEE AEROSPACE CONFERENCE PROCEEDINGS  (CAT. NO.02TH8593) IEEE PISCATAWAY, NJ,  USA,  vol. 4, 22 December 2001 (2001-12-22),  pages 4.1685-4.1694, XP002302125  ISBN: 0-7803-7231-X  figure 3</p> <p>-----</p>	1,8,10
A	<p>LILLIE C F ET AL: "Infrared coronagraph for the Terrestrial Planet Finder mission.  I. Overview and design concept"  PROCEEDINGS OF THE SPIE - THE  INTERNATIONAL SOCIETY FOR OPTICAL  ENGINEERING SPIE-INT. SOC. OPT. ENG USA,  vol. 4860, 2003, pages 84-95, XP002302126  ISSN: 0277-786X  the whole document</p> <p>-----</p>	1,8,10
A	<p>CASEMENT L S ET AL: "Infrared coronagraph for the terrestrial planet finder mission.  II. Instrument design and performance"  PROCEEDINGS OF THE SPIE - THE  INTERNATIONAL SOCIETY FOR OPTICAL  ENGINEERING SPIE-INT. SOC. OPT. ENG USA,  vol. 4860, 2003, pages 96-107, XP002302127  ISSN: 0277-786X  the whole document</p> <p>-----</p> <p style="text-align: center;">-/-</p>	1,8,10

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International Application No

PCT/FR2005/000494

**C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	KRIST J E ET AL: "Jovian Planet Finder optical system" PROCEEDINGS OF THE SPIE - THE INTERNATIONAL SOCIETY FOR OPTICAL ENGINEERING SPIE-INT. SOC. OPT. ENG USA, vol. 4860, 2003, pages 288-294, XP002302128 ISSN: 0277-786X the whole document -----	1,8,10

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

Information on patent family members

International Application No

PCT/FR2005/000494

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)			Publication date
US 5291333	A 01-03-1994	US	5249080	A	28-09-1993
US 5450352	A 12-09-1995	NONE			
US 4923293	A 08-05-1990	DE FR GB	3804534 2627292 2215862	A1 A1 A ,B	24-08-1989 18-08-1989 27-09-1989

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande Internationale No  
PCT/FR2005/000494

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE  
CIB 7 G02B23/00 G02B27/58

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

## B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

CIB 7 G02B

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

EPO-Internal, INSPEC

## C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie *	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	US 5 291 333 A (MILLS JAMES P ET AL) 1 mars 1994 (1994-03-01) colonne 1, ligne 15-53 colonne 2, ligne 36 - colonne 3, ligne 2 figures 1,48 -----	1,8,10
A	US 5 450 352 A (FTACLAS CHRIST ET AL) 12 septembre 1995 (1995-09-12) le document en entier -----	1,8,10
A	US 4 923 293 A (NELLES BRUNO ET AL) 8 mai 1990 (1990-05-08) le document en entier -----	1,8,10
		-/-

Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

### \* Catégories spéciales de documents cités:

- \*A\* document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- \*E\* document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- \*L\* document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- \*O\* document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- \*P\* document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

- \*T\* document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention
- \*X\* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément
- \*Y\* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier
- \*Z\* document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche Internationale a été effectivement achevée

23 août 2005

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

31/08/2005

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale  
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Mollenhauer, R

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande Internationale No  
PCT/FR2005/000494

## C,(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
T	ANONYMOUS: "Extrasolar planet" INTERNET ARTICLE, 'Online' 18 octobre 2004 (2004-10-18), XP002302123 Extrait de l'Internet: URL: <a href="http://en.wikipedia.org/wiki/Extrasolar_planet">http://en.wikipedia.org/wiki/Extrasolar_planet</a> 'extrait le 2004-10-21! le document en entier -----	1,8,10
A	HULL T ET AL: "Eclipse telescope design factors" PROCEEDINGS OF THE SPIE - THE INTERNATIONAL SOCIETY FOR OPTICAL ENGINEERING SPIE-INT. SOC. OPT. ENG USA, vol. 4860, 2003, pages 277-287, XP002302124 ISSN: 0277-786X figure 3 -----	1,8,10
A	SERABYN G: "Comparison of high dynamic range near-neighbor detection approaches for TPF" 2002 IEEE AEROSPACE CONFERENCE PROCEEDINGS (CAT. NO.02TH8593) IEEE PISCATAWAY, NJ, USA, vol. 4, 22 décembre 2001 (2001-12-22), pages 4.1685-4.1694, XP002302125 ISBN: 0-7803-7231-X figure 3 -----	1,8,10
A	LILLIE C F ET AL: "Infrared coronagraph for the Terrestrial Planet Finder mission. I. Overview and design concept" PROCEEDINGS OF THE SPIE - THE INTERNATIONAL SOCIETY FOR OPTICAL ENGINEERING SPIE-INT. SOC. OPT. ENG USA, vol. 4860, 2003, pages 84-95, XP002302126 ISSN: 0277-786X le document en entier -----	1,8,10
A	CASEMENT L S ET AL: "Infrared coronagraph for the terrestrial planet finder mission. II. Instrument design and performance" PROCEEDINGS OF THE SPIE - THE INTERNATIONAL SOCIETY FOR OPTICAL ENGINEERING SPIE-INT. SOC. OPT. ENG USA, vol. 4860, 2003, pages 96-107, XP002302127 ISSN: 0277-786X le document en entier ----- -----	1,8,10

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande Internationale No  
PCT/FR2005/000494

## C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	KRIST J E ET AL: "Jovian Planet Finder optical system" PROCEEDINGS OF THE SPIE - THE INTERNATIONAL SOCIETY FOR OPTICAL ENGINEERING SPIE-INT. SOC. OPT. ENG USA, vol. 4860, 2003, pages 288-294, XP002302128 ISSN: 0277-786X le document en entier -----	1,8,10

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande Internationale No  
PCT/FR2005/000494

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)		Date de publication
US 5291333	A 01-03-1994	US	5249080 A	28-09-1993
US 5450352	A 12-09-1995	AUCUN		
US 4923293	A 08-05-1990	DE FR GB	3804534 A1 2627292 A1 2215862 A ,B	24-08-1989 18-08-1989 27-09-1989